

## ESPECTROS ATÔMICOS E MOLECULARES

### Material Utilizado:

- um conjunto (PASCO OS-8500) constituído de um banco óptico com escala milimetrada, um porta-componentes, uma rede de difração (600 linhas / mm), e uma escala de difração.
- uma fenda de 0,5 mm
- uma fonte para tubos espectrais (5000 V, 10 mA) (PASCO SE-9460)
- um tubo espectral de He (SE-9462)
- um tubo espectral de N<sub>2</sub>
- uma mesa de altura ajustável

**Objetivo do Experimento:** Investigar qualitativamente e quantitativamente os espectros de emissão de átomos e moléculas .

---

### INTRODUÇÃO

É um importante fato experimental que átomos, moléculas e núcleos apresentam espectros característicos. Esses sistemas absorvem e emitem radiação eletromagnética em certas frequências definidas de regiões tipicamente distintas do espectro eletromagnético: a região de radiofrequência para as moléculas, a região visível para os átomos e as regiões de raios-X e raios gama para os núcleos. Em particular, o fato de que a cada elemento químico está associado um espectro óptico único constitui um dos fatos marcantes da natureza.

A investigação dos espectros desses sistemas permitem a determinação de um conjunto de níveis de energia, ou *estados estacionários*, característicos do sistema. Quando um tal sistema emite ou absorve radiação eletromagnética, o mesmo experimenta uma transição entre dois estados estacionários. Se o sistema passa de um estado energeticamente superior, com energia  $E_S$ , para um outro estado energeticamente inferior, de energia  $E_I$ , um fóton é emitido. O processo inverso da emissão de um fóton é o da absorção, em cujo caso, o sistema passa de um estado energeticamente inferior para outro estado energeticamente superior. Em qualquer caso, a frequência  $\nu$  do fóton emitido ou absorvido é dada por  $h\nu = E_S - E_I$ , onde  $h$  é a constante de Planck.

A identificação dos níveis energéticos de um tal sistema a partir de um conjunto observado de linhas espectrais consiste em obter um conjunto de valores de energia  $E_0, E_1, E_2, \dots$ , tais que cada linha espectral observada corresponda a uma transição entre dois níveis energéticos propostos. A complexidade desta tarefa resulta principalmente de que, a um número relativamente pequeno de níveis energéticos corresponde um número muito maior de linhas espectrais (o número de pares de níveis que

se pode escolher de um conjunto de  $n$  níveis é  $n(n - 1)/2$ ). Também é importante destacar que não são observadas linhas espectrais correspondentes a transições entre qualquer par de níveis.

Neste experimento investigaremos espectros de emissão de sistemas atômicos e moleculares. O arranjo experimental típico para a observação de tais espectros inclui uma fonte, uma escala de difração com uma fenda e uma rede de difração (por transmissão). A fonte consiste de um tubo de descarga elétrica no interior do qual há um gás da substância cujo espectro se quer observar. Devido à colisão com os elétrons ou entre si, alguns dos átomos ou moléculas do gás são colocados em estados excitados, isto é, com energia total superior ao estado fundamental (o estado de energia mais baixa). Ao retornar ao estado fundamental (diretamente ou através de transições para outros estados excitados menos energéticos), os átomos ou moléculas liberam sua energia em excesso emitindo radiação eletromagnética. Esta radiação é colimada pela fenda e é então transmitida e resolvida pela rede de difração, resultando em linhas espectrais que podem ser observadas na escala de difração.

Embora cada átomo ou molécula apresente um espectro de emissão característico, há alguns aspectos comuns entre os espectros de emissão de sistemas diversos. À medida que o comprimento de onda das linhas observadas diminui, (i) espaçamento médio entre linhas adjacentes diminui (o que corresponde ao fato de que em qualquer átomo ou molécula os estados ligados de maior energia estão, em média, mais próximos uns dos outros, energeticamente), e (ii) os comprimentos de onda convergem para um valor limite, acima do qual o espectro é contínuo (o que resulta do fato de que o átomo ou molécula podem ser excitados o suficiente para serem ionizados, criando um sistema constituído de um ou mais elétrons completamente separados de um átomo ou molécula ionizados, para o qual qualquer energia acima da energia de ionização é possível).

Comumente, espectros de emissão atômicos apresentam centenas de linhas e são, em geral, muito complexos. Espectros de emissão moleculares são ainda mais complexos que espectros atômicos. Isto se deve ao fato de que além dos graus de liberdade eletrônicos (associados ao movimento dos elétrons relativamente ao núcleos) também presentes nos átomos, uma molécula apresenta graus de liberdade vibracionais e rotacionais (associados aos movimentos relativos entre núcleos na molécula). As energias associadas a cada um desses movimentos também são quantizadas, e portanto espera-se um número muito maior de níveis energéticos numa molécula que num átomo. Os níveis energéticos moleculares podem ser classificados segundo grupos amplamente separados energeticamente, cada grupo correspondendo a um estado eletrônico diferente da molécula. Os níveis energéticos associados a um estado eletrônico, podem ainda ser novamente classificados segundo subgrupos separados por intervalos energéticos aproximadamente iguais, estando cada subgrupo associado a um estado vibracional da molécula. Finalmente um tal subgrupo compõe-se de níveis energéticos distintos, cada um associado a um estado de rotação da molécula. O espectro de emissão de uma molécula pode ser dividido em três regiões espectrais, correspondentes a tipos diferentes de transições entre estados quânticos moleculares. No infravermelho distante é observado o espectro rotacional (criado por transições entre estados que diferem apenas pelo estado rotacional). No infravermelho próximo é

observado o espectro vibracional-rotacional (criado por transições que incluem mudanças nos estados vibracionais). Na parte visível e ultravioleta do espectro é observado o espectro eletrônico (criado por transições entre estados eletrônicos).

Neste experimento escolhemos investigar espectros de emissão de sistemas atômicos e moleculares relativamente simples. O átomo de He (com número atômico  $Z = 2$ ) é o segundo sistema atômico mais simples disponível na natureza. Uma molécula diatômica como  $N_2$ , é relativamente simples no sentido de que é composta de apenas dois átomos, e apresenta todas as características essenciais de um espectro molecular, sendo este menos complexo que espectros de moléculas poliatômicas.

Os comprimentos de onda das linhas espectrais observadas, por meio de uma rede de difração por transmissão, são determinados a partir da relação

$$\text{sen } \theta = n \lambda / d$$

onde  $\theta$  é o ângulo de difração correspondente à linha observada,  $n$  é a ordem de difração e  $d$  é o espaçamento entre fendas na rede. Na prática é suficiente observar os máximos de difração de ordem  $n = 1$ . Tende em mente a geometria do arranjo utilizado, obtém-se  $\text{sen } \theta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + D^2}}$ , onde  $x$  é a posição (de um máximo de difração) medida ao longo da escala de difração e  $D$  é a distância entre esta e a rede de difração. Para  $n = 1$  obtém-se, então

$$\lambda = \frac{dx}{\sqrt{x^2 + D^2}}$$

## PROCEDIMENTO

### Parte A - Espectros Atômicos

1. Coloque o banco óptico sobre a mesa de altura ajustável.
2. Posicione a fonte para tubos espectrais próximo a um extremo do banco óptico e insira um porta-componentes no outro extremo.
3. Insira o tubo espectral de Hg na fonte de alimentação. Após verificar a voltagem de alimentação da fonte, conecte-a à rede e ligue-a.

4. Insira um segundo porta-componentes sobre o banco óptico e nas proximidades da fonte. Sobre este porta-componentes fixe a escala de difração. Olhando através do porta-componentes na extremidade distante da fonte, ajuste a posição desta e a altura da mesa de forma que você possa ver através do orifício da escala a parte central do tubo espectral. Tendo em vista que a fenda da escala de difração é relativamente larga, é conveniente inserir entre esta e o porta componentes uma fenda de menor largura ( $\leq 0,5$  mm), o que resultará num melhor colimação do feixe luminoso incidente sobre a rede de difração.
5. Fixe a rede de difração (600 fendas / mm) no porta-componentes situado na extremidade do banco óptico oposta à fonte e voltada para a mesma. Descreva qualitativamente a figura de difração observada.
6. Olhe através da rede de difração e identifique o espectro de primeira ordem.
7. Ajuste a distância  $D$  entre a escala de difração e a rede de difração de forma o conjunto de linhas (máximos de difração) de primeira ordem, presentes no espectro visível, isto é, do vermelho ao violeta, possa ser visualizado na escala, e ocupe toda a extensão disponível na mesma.
8. Meça com o auxílio da escala do banco óptico a distância  $D$  entre a escala de difração e a rede de difração, registrando o seu valor.
9. Observando o espectro de difração ao longo da escala de difração, registre as posições  $x$  de todas as linhas espectrais observadas.
10. Desligue a fonte para tubos espectrais.
11. Fazendo uso da expressão  $\lambda = \frac{dx}{\sqrt{x^2 + D^2}}$ , obtenha  $\lambda$  para cada linha observada.

### **Parte B - Espectros Moleculares**

12. Substitua o tubo espectral de He pelo tubo espectral de  $N_2$ . Ligue a fonte para tubos espectrais.
13. Olhe através da rede de difração e identifique o espectro de primeira ordem. Provavelmente você observará bandas (grupos de linhas) de diversas cores do espectro visível.

14. Ajuste a distância  $D$  entre a escala de difração e a rede de difração de forma que o conjunto de bandas presentes no espectro visível, isto é, do vermelho ao violeta, possa ser visualizado na escala, ocupando toda a extensão disponível na mesma.
15. Observando o espectro de difração ao longo da escala de difração, registre, para cada cor, os extremos inferior e superior,  $x_{(-)}$  e  $x_{(+)}$ , da banda correspondente..
16. Fazendo uso da expressão  $\lambda = \frac{dx}{\sqrt{x^2 + D^2}}$ , obtenha os limites inferior e superior,  $\lambda_{(-)}$  e  $\lambda_{(+)}$ , de cada banda observada.
17. Para cada banda, identifique o número de linhas presente na mesma e obtenha a a separação média  $\overline{\Delta\lambda}$  entre linhas adjacentes.
18. Identifique que grau de liberdade (eletrônico, vibracional ou rotacional) está mais provavelmente associado à separação entre os níveis energéticos sugerida pelos valores de  $\overline{\Delta\lambda}$  encontrados no item anterior.

## FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

### *Experimento: Espectros de Emissão Atômicos e Moleculares*

Data \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

#### COMPONENTES DO GRUPO

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

NOME \_\_\_\_\_

Espaçamento entre fendas:  $d =$  \_\_\_\_\_ mm

#### A. ESPECTRO ATÔMICO DO He

Distância da fenda à escala de difração:  $D =$  (\_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_) mm

Identificação das linhas espectrais e cálculo do comprimento de onda

Cor	$x$ (mm)	$\lambda$ (Å)	Transição Atômica
vermelho			$3\ ^1D \rightarrow 2\ ^1P$
amarelo-laranja			$3\ ^3D \rightarrow 2\ ^3P$
verde			$3\ ^1P \rightarrow 2\ ^1S$
azul-verde			$4\ ^1D \rightarrow 2\ ^1P$
azul			$4\ ^3S \rightarrow 2\ ^3P$
violeta			$4\ ^3D \rightarrow 2\ ^3P$

## A. ESPECTRO ATÔMICO DO N<sub>2</sub>

Distância da fenda à escala de difração:  $D = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ mm}$

Identificação das franjas de difração e cálculo da faixa de comprimento de onda

Banda	$x_{(-)}$ (mm)	$x_{(+)}$ (mm)	$\lambda_{(-)}$ (Å)	$\lambda_{(+)}$ (Å)	$\overline{\Delta\lambda}$ (Å)
Violeta					
Azul					
Verde					
Amarelo					
Laranja					
Vermelho					